

*Найманбаев М.А., Бектурганов Н.С., Лохова Н.Г., Балтабекова Ж.А.*

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОЛУЧЕНИЮ КОНЦЕНТРАТОВ  
РЕДКОЗЕМЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ИЗ РУДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

*M.A. Naimanbaev, N.S. Bekturganov, N.G. Lokhova, Zh.A. Baltabekova*

**RESEARCH ON THE PREPARATION OF CONCENTRATES  
THE RARE EARTH ELEMENT FROM ORE AND TECHNOGENIC RAW MATERIALS  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

УДК: 611.05

*В статье рассматривается исследование по получению концентратов редкоземельного элемента из рудного и техногенного сырья Республики Казахстан.*

*The article discusses research on the preparation of rare earth element concentrates from ore and technogenic raw materials of the Republic of Kazakhstan.*

Редкоземельные элементы имеют важное значение для развития высокотехнологичных отраслей промышленности, которые составляют часть мировой индустриальной экономики. Долгосрочный дефицит редкоземельных элементов вызовет значительные затруднения в развитии многих наукоемких производств [1]. По оценкам аналитиков в ближайшие годы на мировом рынке ожидается увеличение спроса на редкоземельные металлы и их соединения при дефиците производства.

Надо отметить, что в отношении спроса и поставок на различные металлы в условиях ограничения экспорта со стороны КНР ситуация была и остается сложной.

Наиболее востребованными сейчас являются неодим, празеодим, тербий и диспрозий за счет их использования в миниатюрных постоянных магнитах, потребность в которых, по прогнозу, и дальше будет увеличиваться вследствие расширения производства гибридных автомобилей, в узлах которых применяются РЗЭ.

Растет спрос на редкоземельные элементы, используемых в атомной отрасли: европий, входящий в состав регулирующих стержней в ядерных реакторах, керметы с оксидом европия, которые начали применять в реакторах-размножителях на быстрых нейтронах; гадолиний, служащий добавкой к ядерному топливу, покрытия из гадолиний содержащей краски, обеспечивающие защиту от радиоактивного излучения; диспрозий как добавка к европию в регулирующих стержнях ядерных реакторов; иттербий, используемый в устройствах для измерений больших давлений (например, при ядерных взрывах); иттрий – как один из компонентов стали для ядерных реакторов и конструкционных материалов для термоядерных реакторов.

Республика Казахстан располагает значительными запасами минерального и техногенного сырья, содержащего редкоземельные элементы.

На рисунке 1 представлено долевое распределение лантаноидов и иттрия в сумме оксидов редкоземельных элементов, содержащихся в казахстанских рудах. Для сравнения приведено содержание РЗЭ в апатитах Кольского полуострова.

Из рисунка 1 видно, что доля неодима, празеодима, диспрозия и гадолиния в составе суммы РЗЭ апатита значительна, а фосфорит содержит более широкий спектр наиболее востребованных в настоящее время лантаноидов: европия 6, гадолиния 5, диспрозия 3 и тербия 2%. Содержание иттрия в 7 раз больше, чем в апатите.

Основной рудный минерал – гидрофосфат иттриевой группы редкоземельных элементов – черчит месторождения «Кундыбай» содержит более 50% иттрия, много диспрозия, иттербия и тербия.

Вольфрамит отличается большой долей иттербия и тербия, но главным составляющим является лантан.

Основной элемент в сумме РЗЭ рутила и ильменита – неодим, доля которого 65,6 и 81,3% соответственно. Однако, элементы тяжелой группы в этих минералах отсутствуют.

Как показала практика, производство празеодима, неодима и гадолиния в количествах, достаточных для удовлетворения спроса, приводит к избытку невостребованных на рынке церия и лантана.

По данным 2009 г. стоимость церия составляет 15 долл/кг, в то время как цена европия 1700 и диспрозия 22000 долл/кг. Поэтому при выборе сырья необходимо учитывать и коммерческие перспективы.

В таблице 1 приведено распределение групп редкоземельных элементов в доступных продуктах и рудных концентратах.

Как видно из таблицы 1 наиболее оптимальное соотношение групп имеется в фосфорите и черците. В сумме РЗЭ карбонатной урановой руды месторождения «Восток» тяжелая группа представлена диспрозием, доля которого равна 2,7%, что соизмеримо с его содержанием в фосфорите Каратау.

Таблица 1  
Распределение групп РЗЭ в рудном и техногенном сырье, %

Сырье	Группа			
	Иттрий	Легкая (La, Ce, Pr, Nd)	Средняя (Sm, Eu, Gd)	Тяжелая (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)
Апатит (Кольский)	4,6	87,3	4,4	3,7
Фосфогипс от переработки апатита (Кольский)	3,1	91,4	4,1	1,4
Фосфорит (Каратау)	36,8	37,5	13,2	12,5
Фосфогипс от переработки фосфорита (Каратау)	50,7	27,8	10,6	10,9
Вольфрамит (Кара-оба)	15,3	62,1	2,2	20,4
Черчит (Кундыбай)	50,2	10,7	11,3	27,8
Ильменит (Сатпаев)	3,2	95,3	0,7	0,8
Рутил-циркон (Шокаш)	9,0	88,5	0,9	1,6
Урановая руда (Восток)	38,6	51,8	6,9	2,7

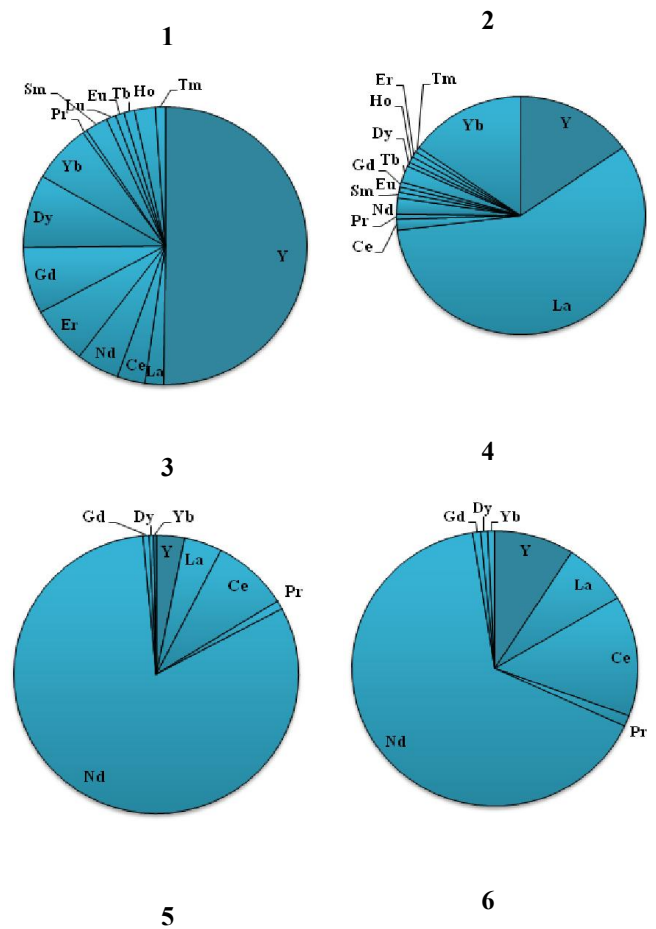
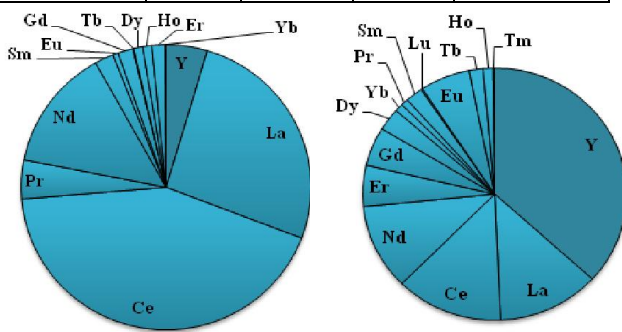


Рисунок 1- Долевой состав лантаноидов и иттрия ( $\Sigma TR_2O_3=100\%$ ) в рудах:

- 1 – апатит, Кольский полуостров;
- 2 – фосфорит, Каратау;
- 3 – черчит, Кундыбай;
- 4 – вольфрамит, Кара-оба;
- 5 – ильменит, Сатпаевское;
- 6 – рутил, Шокаш.



Надо отметить, что фосфогипс, полученный при переработке фосфоритов Каратау, содержит средней группы редкоземельных элементов в 2,6, а тяжелой в 7,8 раза больше, чем фосфогипс, полученный при переработке Кольского апатита.

Каждый вид сырья требует индивидуального подхода к разработке рациональных методов извлечения из него ценных компонентов.

Для фосфатов редкоземельных элементов – в фосфогипсе  $\text{LnPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и в черците  $(\text{Ln,Ca})[\text{PO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  особенно перспективными являются гидрометаллургические процессы. При повышенных температурах, но без применения автоклавов возможно растворение простых и сложных фосфатов редкоземельных элементов [2].

Кроме того, при гидрометаллургических способах условия труда значительно лучше, чем пирометаллургических, а весь процесс достаточно легко подвергается механизации и автоматизации.

Производство фосфорной кислоты на базе фосфатного сырья, вскрываемого сернокислотным способом, требует решения проблемы утилизации получаемого при этом отхода – фосфогипса [3]. Этот практически неиспользуемый продукт содержит ряд ценных компонентов, в том числе фосфор, кальций и редкоземельные элементы. При комплексной переработке фосфогипса возможен возврат в основное производство недоизвлеченного фосфора, получение концентрата РЗЭ и соединений кальция. Кальций в виде оксида или карбоната находит все более широкое применение в строительной индустрии, медицине и новых наноматериалах.

Перспективным с точки зрения промышленного освоения отвалов фосфогипса, является способ [4] извлечения редкоземельных элементов и фосфора путем обработки фосфогипса раствором сульфата аммония в серной кислоте с последующей нейтрализацией аммиаком и получением концентрата РЗЭ, обогащенного оксидами неодима, европия и иттрия (таблица 2)

Таблица 2

Состав суммы оксидов РЗЭ промпродуктов, %

Элемент	Исходный фосфогипс	Концентрат РЗЭ	Степень извлечения РЗЭ в концентрат, %
Иттрий	3,52	7,20	69,4
Лантан	27,30	22,40	27,8
Церий	45,80	42,50	31,6
Неодим	13,90	15,60	38,1
Самарий	2,24	2,50	37,9
Европий	0,36	0,67	63,1

При утилизации 1 млн. т фосфогипса можно выделить около 1500 т редкоземельных элементов. Попутно с извлечением концентрата РЗЭ происходит отмывка фосфогипса от захваченной фосфорной кислоты и возврат в процесс 5000 т фосфора.

Представляет интерес гидрометаллургическая переработка фосфогипса на сульфат натрия, карбонат кальция, концентрат редкоземельных элементов и концентрат стронция [5]. При переработке одной тонны фосфогипса можно получит 600 кг сульфата натрия, 400 кг карбоната кальция,

26кг 30% концентрата стронция и 16 кг 25%-го концентрата РЗЭ.

При переработке карбонатной урановой руды применяется автоклавное содовое выщелачивание урана, при этом редкоземельные элементы, содержащиеся в руде практически полностью остаются в отвальных хвостах [2].

Исследования [2,6] условий кислотного вскрытия отвальных хвостов уранового производства показали, что использование азотной кислоты для перевода редкоземельных элементов в раствор более эффективно, чем серной: улучшается фильтрация кислой пульпы, степень извлечения РЗЭ увеличивается с 60 до 75%.

Руда коры выветривания месторождения «Кундыбай» является перспективным источником редкоземельных элементов, в которой носителями РЗЭ являются в основном глинистые материалы и гидроксиды железа, и лишь небольшая часть представлена собственным минералом редкоземельных элементов черчитом. Весьма тонкое прораствление и аккумуляция РЗЭ в пустой породе обуславливает трудности традиционных методов обогащения [7], поэтому большое значение имеют гидрометаллургические способы, заключающиеся в выщелачивании ценных компонентов с последующим выделением их растворов.

Известно два варианта извлечения редкоземельных элементов из коры выветривания. Первый [8] заключается в том, что рудный концентрат измельчают до размера зерен менее 0,05 мм. Обрабатывают его смесью растворов гидроксида натрия концентрацией 100-200 г/дм<sup>3</sup> и карбоната натрия концентрацией 100-250 г/дм<sup>3</sup>. Обработку ведут в две стадии. Степень извлечения РЗЭ при этом составляет 90-97%.

Второй вариант [9] основан на сернокислотном разложении руды после удаления глинистой фракции и магнитного обогащения. Из раствора последовательно выделяют сульфат железа, который может быть использован как коагулянт для водоочистки, затем получают концентрат редкоземельных элементов нейтрализацией гидроксидом или карбонатом натрия.

Из вышеизложенного следует, что для переработки рудного и техногенного сырья весьма актуальной является задача по разработке новых технологических схем и процессов, позволяющих извлекать все ценные компоненты. Для обоснования рациональности таких приемов необходимо проведение дополнительных научно-исследовательских работ, выполнение технико-экономических расчетов, проектирование и строительство пилотных установок для комплексной переработки сырья.

#### Литература

1. Найманбаев М. А. Современное состояние технологии производства редкоземельных элементов // Горный журнал Казахстана, 2009. - №2. - С. 24-25.
2. Найманбаев М.А., Лохова Н.Г., Балтабекова Ж.А., Квятковская М.Н. Исследование условий выщелачивания редкоземельных элементов из хвостов сорбции урана. // Энергосбережение и ресурсосбережение. Киев, 2009. - №6. - С. 53-57.

3. Найманбаев М.А., Лохова Н.Г., Балтабекова Ж.А. О комплексном использовании фосфогипса //Горный журнал Казахстана. - 2009. - №7. -С. 27-28.
4. Патент RU №1818304. Способ извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса. Оpubл. 30.05.1993
5. Патент RU №2258036. Способ комплексной переработки фосфогипса. Оpubл. 9.06.2004
6. Найманбаев М.А., Бектурганов Н.С, Лохова Н.Г., Балтабекова Ж.А. Кинетические закономерности выщелачивания фосфатов РЗЭ из техногенного сырья. //Комплексное использование минерального сырья. – 2009. - № 5. -С. 54-59.
7. Уласюк С.М., Киселева В.С. Изучение вещественного состава и технологических особенностей редкоземельной коры выветривания./Технологическая оценка минерального сырья. 1981. -С. 38-44.
8. Патент RU №2104940. Способ извлечения редкоземельных элементов из рудного концентрата коры выветривания месторождения «Кундыбай». Оpubл. 20.02.1998
9. Патент RU №2000117253. Способ извлечения редкоземельных элементов из руды месторождения «Кундыбай». Оpubл. 20.06.2002.

**Рецензент: д.т.н., профессор Шамсутдинов М.М.**

---